Teilchenbeschleuniger

Strahlenergie, Luminosität

- „Mikroskop" um kleinste Strukturen zu untersuchen

de Broglie : $\lambda = \frac{h}{|\vec{p}|}$ $\left(|\vec{p}| = \hbar |\vec{k}| = \frac{h}{\lambda} \right)$

$\Rightarrow$ je größer die Energie (und somit $\vec{p}$), desto kleiner die auflösbaren Strukturen

- Produktion von neuen Teilchen in hochenergie Kollisionen

Beschleuniger verwenden (üblicherweise) stabile, geladene Teilchen:
e^-, e^+, p, $\bar{p}$; schwere Ionen ; Zukunft μ

Zwei Möglichkeiten einen Strahl beschleunigter Teilchen zur Kollision zu bringen:

1. Kollision mit zweiten (entgegenkommenden) Strahl: „Collider"
2. Kollision mit festem Target: „fixed target"

Untersuchung d. atomare / nukleare Substruktur:

$\hbar c = 200\,\text{fm MeV}$

$$|\vec{p}| = \frac{1\,\text{GeV}}{c} \longrightarrow \lambda = 1{,}24 \cdot 10^{-15}\,\text{m} \simeq \text{Größe eines Nukleons}$$

$$|\vec{p}| = 10^{3}\,\frac{\text{GeV}}{c} \longrightarrow \lambda = 1{,}24 \cdot 10^{-18}\,\text{m} \simeq \text{Größe d. Protonen-Substruktur (Quarks)}$$

Suche nach neuen Teilchen mit großer Masse

Kollision von Teilchen mit $m_1, \vec{p}_1$ mit Teilchen mit $m_2, \vec{p}_2$

Energie im Laborsystem:

$$E_L = \sqrt{\vec{p}_1^{\,2} c^2 + m_1^2 c^4} + \sqrt{\vec{p}_2^{\,2} c^2 + m_2^2 c^4}$$

$$|\vec{p}_L| = |\vec{p}_1 + \vec{p}_2|$$

Lorentz-Invariante Größe: $E_L^2 - \vec{p}_L^{\,2} c^2 = E^{*2} - \underbrace{\vec{p}^{\,*2} c^2}_{=0}$

$*$: Center of mass system

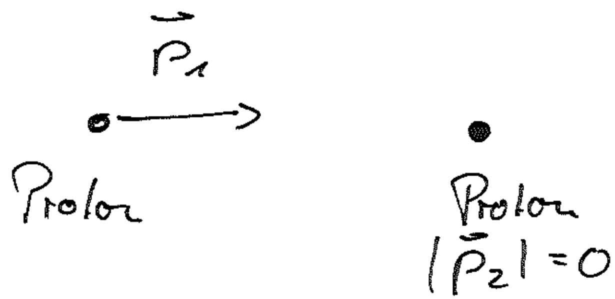
$$\Longrightarrow E^* = \sqrt{E_L^2 - \vec{p}_L^{\,2} c^2}$$

Schwellenenergie für die Produktion neuer Teilchen:

$$E^* = \sum_i m_i c^2 \quad , (E_{kin} = 0)$$

m_i: Masse des i-ten Teilchens im Endzustand

Beispiel:



$$p p \rightarrow \underbrace{\bar{p} p}_{\text{Baryonzahl}} p p$$

$$m_1 = m_2 = m = 0{,}9383 \ \frac{\text{GeV}}{c^2}$$

$$|\vec{p}_L| = |\vec{p}_1| \ , \ |\vec{p}_2| = 0$$

an der Schwelle: $E^* = 4 m c^2 = 3{,}7532 \ \text{GeV}$

$$\Rightarrow |\vec{p}_1| = 6{,}5 \ \frac{\text{GeV}}{c}$$

Schwerpunktsenergie $\sqrt{s}$: Gesamtenergie aller an einem Prozess beteiligten Teilchen, bezüglich ihres gemeinsamen Schwerpunktsystems

$$\sqrt{s} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n} P_i\right)^2} \quad ; \quad P_i : \text{Viererimpuls des } i\text{-ten Teilchens}$$

Beispiel 1 : Kollision zweier Teilchen mit entgegengesetztem Impuls

$$P_1 = \begin{pmatrix} E \\ p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} \quad \text{und} \quad P_2 = \begin{pmatrix} E \\ -p_x \\ -p_y \\ -p_z \end{pmatrix}$$

$$\sqrt{s} = \sqrt{\left[\begin{pmatrix} E \\ p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E \\ -p_x \\ -p_y \\ -p_z \end{pmatrix}\right]^2} = \sqrt{4E^2} = \boxed{2E}$$

Bsp 2 : Teilchen A mit E_a und m_a trifft auf ruhendes Teilchen B mit m_b

$$\sqrt{s} = \sqrt{\left[\begin{pmatrix} E_a \\ p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m_b \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}\right]^2} = \sqrt{\begin{pmatrix} E_a + m_b \\ p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix}^2}$$

$$= \sqrt{(E_a + m_b)^2 - (p_x^2 + p_y^2 + p_z^2)}$$

$$= \sqrt{E_a^2 + 2E_a m_b + m_b^2 - |\vec{p}|^2} \quad (= E_a^2 - m_a^2)$$

$$\sqrt{s} = \sqrt{2 E_a m_b + m_a^2 + m_b^2} \simeq \sqrt{2 E_a m_b}$$

für $E_a \gg m_a^2, m_b^2$

N.B. Schwerpunktsenergie wächst nur mit der Wurzel der Strahlenergie

Vgl: $\overrightarrow{22\,\text{GeV}} + \overleftarrow{22\,\text{GeV}} \hat{=} \overline{1\,\text{TeV}}$ + fixed target

$\overrightarrow{1\,\text{TeV}} + \overleftarrow{1\,\text{TeV}} \Longleftrightarrow 10^3\,\overline{\text{TeV}}$ + fixed target

identisches $\sqrt{s}$